

陈华沙 主编

中国高等院校摄影专业系列教材

# 摄影曝光控制

于文灏 著

上海人民美术出版社

---

图书在版编目 (CIP) 数据

摄影曝光控制/于文灏 著, 一上海: 上海人民美术出版社, 2011.3  
中国高等院校摄影专业系列教材  
ISBN 978-7-5322-7088-0

I. ①摄... II. ①于... III. ①曝光-高等学校-教材  
IV. ①TB811

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第229901号

---

中国高等院校摄影专业系列教材  
**摄影曝光控制**

主 编: 陈华沙

著 者: 于文灏

责任编辑: 姚宏翔 丁 雯

流程编辑: 孙 铭

书籍设计: 高秦艳 孙姝婕 左 骏

技术编辑: 季 卫

出版发行: 上海人民美术出版社

(上海长乐路672弄33号 邮政编码: 200040)

印 刷: 上海丽佳制版印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16 印张 9

版 次: 2011年3月第1版

印 次: 2011年3月第1次

书 号: ISBN 978-7-5322-7088-0

定 价: 45.00元

中国高等院校摄影专业系列教材

# 摄影曝光控制

于文灏 著

## 数字影像将影响和改变人类生活

数字是一个多元的意义和象征，他所表达的是无所不能。

数字原来是纯数学和理科的概念，但是，今天的数字代表了技术和生活的全部，无论是在什么领域，数字和数字技术，彻底改变了人类传统的生活方式和思维方式。

现代摄影的数字化影像对于传播、媒体、交流产生了决定性的影响，又彻底改变了传统媒体运作的形式和传播的形式，数字及其技术强调的是生活和思维的无限主义，带来的是社会传播和影响的自由主义和多元主义。

数字使人类进入了后技术时代、后工业时代和后现代社会，也建构了 21 世纪社会、文化体系的核心形式与关键内容。

现代科技以及数字技术已经进入了社会生活的各个领域，特别是以数字影像构成的主流媒体内容，已经在改变社会生活的形式和内容，开始出现从物质到文化，从内容到精神的变化，影像的东西有利于成为我们表达思想和精神的有利媒介形式。数字化影像是现代科技的产物，为我们的媒体注入、编织起更加感知、理性的世界，媒体技术与媒体艺术也成为了我们生活的重要组成部分。

今天，影像正以强有力的态势介入、包围和控制人们的日常生活，人们时时刻刻、不知不觉地与影像世界共生、共存。作为数字技术构成的影像内容，已经成为人们对世界的一种了解、沟通、表达的方式，甚至是影响和改变社会某种思想和体系的变革力量。因此，我们可以毫不夸张地说，数字影像已经渗透到社会的各个方面，也是建构 21 世纪社会文化体系的主流脉搏。

从 20 世纪 70 年代开始，数字技术开始出现了端倪，并迅速在各个领域及媒体、艺术等各个方面开始运用，尤其是在摄影、电影、电视制作中的应用，对其传播和对社会产生了根本的影响，数字技术在工业及其他方面的应用，对人类和社会产生了颠覆性地取代和影响。我们现在可以清醒地看到，21 世纪将是数字影像和数字生活的时代。

本系列教材从策划、论证、写作、出版，是目前国内为数不多的可以运用到现代高等教育“摄影专业”的实用教材。以全新的思维观念和知识结构，从社会、变化、时代角度，研讨由于数字及其技术的出现所带来的影像变化和观念变化。站在一个比较高的视点，探讨数字技术的出现，进行数字与摄影技术、摄影观念、摄影实际的研究，特别是在当下社会各个领域和媒体领域数字影像技术、数字摄影技术与艺术创作的结合方面进行梳理，着力探讨数字技术条件下的摄影发展和媒体艺术，力图在文字的写作和出版的内容中，用深入浅出的语言、实例、论述，对各个方面的内容和涉及数字摄影技术的各门课程加以经验总结。本系列教材主编陈华沙教授以理念独特，观点新颖，试图达到对已经开展数字化摄影课程的内容进行衔接，尤其是强调技术的实用性和观念的创造性，注重强调理论对实践的直接指导，力求理论联系实际的科学意义。本书的特色在于能够积极把握当前数字摄影和媒体传播的时代性、方向性，用最新的观念引导开展摄影技术、数字技术教学实践，书中的内容和教学方法操作性强，能够以最快的速度帮助学生掌握摄影技术与艺术表现的同时，又掌握各门课程的学习方法和具体应用。

中国人民政治协商委员会 委员  
中国电影家协会 副主席  
北京电影学院 院长 / 博士生导师 / 教授



# 教学进程安排

章节	课程内容	课时
曝光的控制与评价系统	曝光的技术控制系统 / 曝光的评价手段	3
曝光对画面效果的影响	对色彩的影响 / 对颗粒度 (噪点) 的影响 对细节层次的影响 / 对反差的影响 / 对胶片互易律的影响	9
测光	测光表与基准反光率 / 量光与订光 单一光源照明的量光技巧 / 混合光源照明的量光技巧	6
拍摄阶段的曝光控制	正确曝光与准确曝光 / 影响曝光的技术因素 / 实用区域曝光法	12
后期处理阶段的 "曝光" 控制	摄影胶片的后期处理 / JPEG、TIFF、RAW 格式比较 / RAW 格式影像文件的后期处理	9
闪光摄影的曝光控制	自动闪光测曝光模式 / 与相机曝光模式的配合方式 / 闪光同步与高 (低) 速闪光摄影	6
创造性的控制曝光	多次曝光 / 长时间曝光配合频闪 / 光绘	6

007		<b>1 曝光的控制与评价系统</b>
	008	曝光的技术控制系统
	028	曝光的评价手段
033		<b>2 曝光对画面效果的影响</b>
	034	对色彩的影响
	035	对颗粒度(噪点)的影响
	037	对细节层次的影响
	039	对反差的影响
	040	对胶片互易律的影响
043		<b>3 测光</b>
	044	测光表与基准反光率
	049	量光与订光
	053	单一光源照明的量光技巧
	057	混合光源照明的量光技巧
061		<b>4 拍摄阶段的曝光控制</b>
	062	正确曝光与准确曝光
	064	影响曝光的技术因素
	088	实用区域曝光法
093		<b>5 后期处理阶段的"曝光"控制</b>
	094	摄影胶片的后期处理
	100	JPEG、TIFF、RAW 格式比较
	105	RAW 格式影像文件的后期处理
125		<b>6 闪光摄影的曝光控制</b>
	126	自动闪光测曝光模式
	128	与相机曝光模式的配合方式
	130	闪光同步与高/低速闪光摄影
135		<b>7 创造性的控制曝光</b>
	136	多次曝光
	138	长时间曝光配合频闪
	140	光绘

## INTRODUCTION

# 概述

早在法国人达盖尔荣获摄影术专利权之前，已经有人用肉眼见证了影像的存在，但是由于尚未掌握定影技术，逐渐显现的影像继续不断变黑，并最终成为昙花一现。这一光与影的魔术却让无数人着迷甚或魂牵梦绕，在历经无数次失败与革新的探索之后，终于发展成为一门具有特殊“语法”的无国界的视觉语言，并潜移默化地影响着社会的发展进程，更改变着人类自身的命运。

一幅优秀的摄影作品，既是对被摄体的一次精彩再现，也是对其创造者的一次客观描述。科技含量和智能化程度再高的摄影器材，也不可能完全自动呈现出摄影师的主观创作意图、长期积淀的艺术修养、敏锐的观察力和娴熟的摄影技巧等主观因素，而这些却又都是摄影创作过程中不可或缺的有力保障。摄影无疑是关于“光”的艺术，更有人将之比喻成“光影绘画”，没有光线，摄影也就无从谈起了。在并不漫长的摄影发展史中，前进途中的每一步脚印都伴随着摄影术的改良与革新，而对摄影术的每一次变革产生催化作用的，是感光材料技术的发展。

诞生之初的摄影术尚是有钱人的专属消费品，采用贵重金属制作而成的照相底版，需要数十分钟甚至更长的曝光时间，因此在当时的摄影师工作室里，常能看到这样一种滑稽场面：前来拍摄肖像的富人端坐于很高椅背的座椅上，头部被椅背后伸出的一根金属支架牢牢固定，摄影师郑重其事地打开相机镜头前的盖子开始曝光，于是在接下来的数十分钟内，被拍摄者必须纹丝不动地去面对支在架子上的庞大相机，好似对峙一般地经受一段被拍摄的煎熬。

之后，感光材料经历了从金属到玻璃再到纸质的改良，并最终发展成为今天使用的胶片以及伴随数字化革命而诞生的数字影像传感器。感光材料对光线的敏感程度也被不断提升，从数十分钟缩短到了几千分之一秒，甚至能将一颗子弹打穿苹果的瞬间清晰地呈现出来！感光材料技术的飞跃发展，无疑给摄影创作开启了无限的可能性，但同时也对摄影的曝光控制提出了更高的要求。

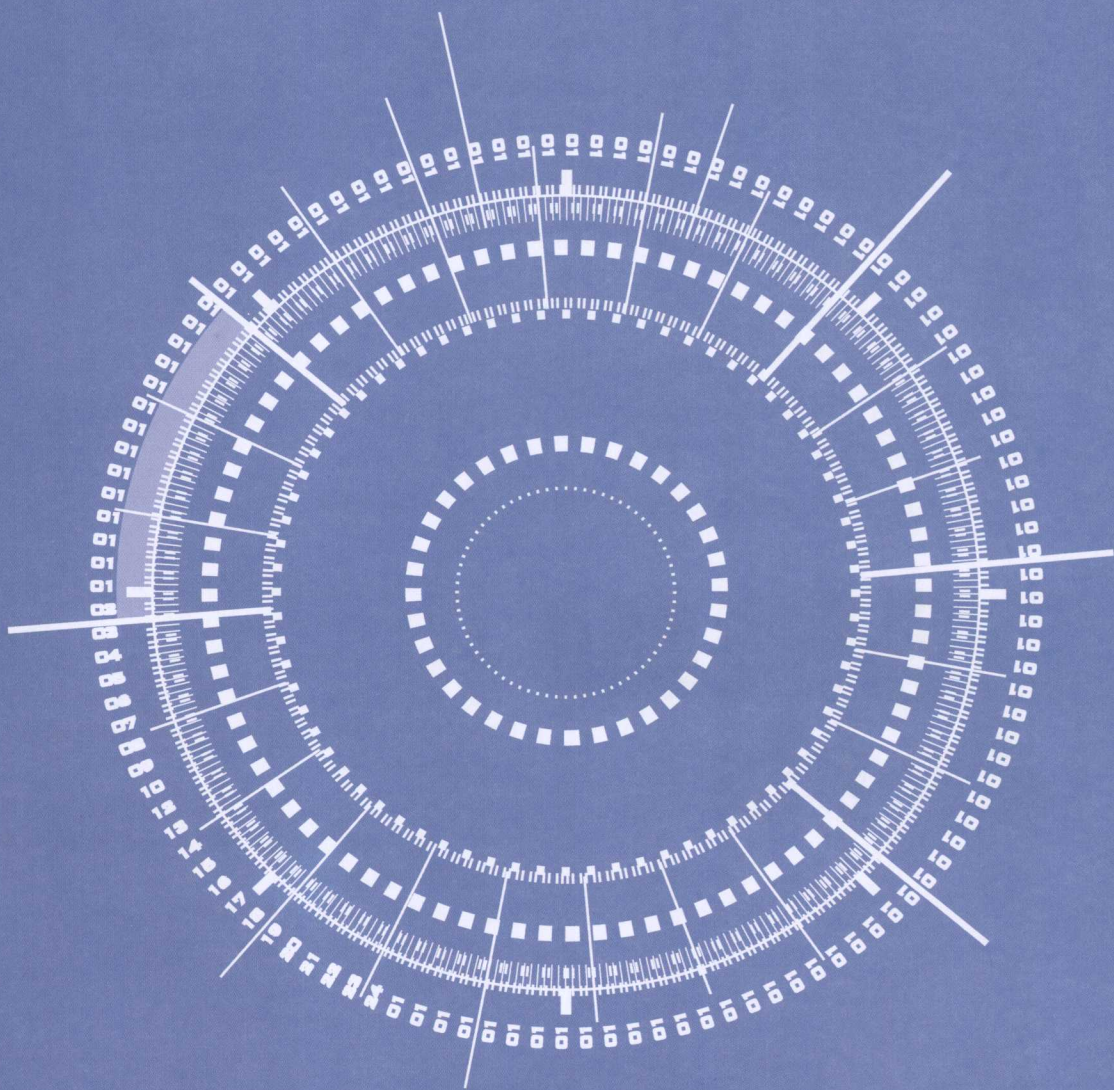
曝光，是摄影成像的物理基础，描述了拍摄过程中底片或数字影像传感器所接受的光照总量；而控制曝光，则是摄影师实现主观创作意图的重要手段。因此，摄影曝光控制既是摄影技术层面的起点，也是摄影创作层面的重要一环，贯穿了前期拍摄和后期处理阶段的完整摄影过程。

综上所述，摄影的曝光控制不能仅仅被简单地置于纯技术语境，而更应结合创作的层面进行综合分析和应用，这也正是本书写作的初衷和将要论述的中心思想。

## 第一章

# 曝光的控制与评价系统

目标：通过本章了解测光表、光圈、快门的发展历程与性能特征、滤光镜的曝光补偿方法以及感光度在传统摄影感光材料和数字影像传感器上的不同工作原理与表现，并掌握摄影曝光评价体系的相关内容。



## 第一节 曝光的技术控制系统

要实现符合摄影师主观创作意图的曝光控制目的，需要先了解和掌握能够影响曝光的各种系统因素，并在系统稳定的基础上控制曝光。

——作者语

### 一、量光工具

测光表是测量光线强度的工具，它通过测量光线照度或者被摄体亮度，给出曝光量的建议。

摄影术诞生之初，摄影曝光的控制全靠摄影师的经验和运气。一种根据摄影家的经验制作出的纸质“曝光参考表”，罗列出多种不同天气和光线效果下的推荐曝光量，成为当时流行的曝光控制工具，甚至一些照相机生产厂家直接将其印制在了照相机的外壳上。

但是，曝光参考表毕竟只是一份曝光数据的估算表格，并不具备测量光线的功能，所以还不能算是真正意义上的测光表。

曝光参考表虽然方便实用，但是它所提供的曝光数据还不能适应太过复杂的拍摄环境，无法满足更高的专业要求，于是在此基础上又研制出了实用性更强的“曝光计算盘”。

尽管曝光计算盘比曝光参考表有了较大改进，但它依然不具备现场量光的功能，因此仍旧不是真正意义上的测光表。

直到20世纪初，真正能够测量光线强度的测光表才被逐渐研发出来。



图1：大多数135胶卷的纸质外包装盒内测，仍旧印有一个十分简洁的曝光参考表；

图2：各种曝光计算盘；

图3：德产禄莱福莱克斯（1939年）、禄莱考德（1954年）、国产上海IV型（1962年）120单反照相机背面的德文或中文曝光参考表；

图4：瑞士1937年生产的Tessinas35微型135半格相机，一卷135胶卷可以拍摄72张底片。相机的机顶取景器旁也印有曝光参考表；

图5：“水星”II型135半格照相机，其机背上印制了当时最为复杂的曝光计算盘，上面项目繁多且分成三层结构仅常用的光圈就被细分成F2、2.2、2.7、3.5~6.3、8、9~18、22等15档之多。



最早期的“相纸感光式测光表”(图1),其密封表壳内装有多张极小尺寸的照相纸,使用时将其中一张相纸抽出一截,令其感光。当相纸上的灰度与测光窗上参照灰板的灰度最接近时,即可通过查阅表壳上的时间换算表得出曝光参数,而这种测量方式就是入射式测光表的雏形。

但是,“相纸感光式测光表”存在相纸过期和使用成本的问题,而且纯粹靠肉眼观察灰度变化的方式,其精确度也不高,因此存在时间不长便被一种“消光式测光表”取而代之了。

消光式测光表有两种主要类型:(图2)一种是通过读取灰度光楔上不同灰阶所显示的不同数字,找出其中临界状态的一个刻度,然后从换算表上查出相应曝光参数;(图4)另一种是双层环形消光式测光表,使用时将量光孔对准被摄主体,旋转双层转盘并通过取景孔(有眼罩的一端)观察内部嵌入的“连续密度光楔”,直到被摄体的纹理越来越暗、将隐将现时,再查阅测光表表面的换算表并获得曝光参数。

消光式测光表的量光方式,是直接对着被摄体测量反射光,因此被认为是“反射式测光表”的雏形。

1932年上市的福伦达(Voigtlander) PROMINENT 6cmx9cm 折叠皮腔照相机(图3),成为世界上第一部安装了消光式测光表的便携式中画幅照相机。

测光表发展初期的产品,主要依赖简单的光学和机械原理,直到20世纪20年代,使用电子元件测量光线强度的“电子测光表”才逐渐现身。

电子测光表的种类很多,结构特点、量光方式和显示方式各不相同,而作为主要部件的光敏元件,在不同时代的产品上也有不同的特点:

### 第一代硒光电池测光表

上世纪20年代出现的硒光电池测光表,是第一代电子测光表。硒光电池无需附加供电电源,是一种见光即可产生电流的光电转换元件,把它与电流计连接,由表头的游针指示,就可以在表头图标上读出不同光线下的不同曝光数值。20世纪三四十年代是硒光电池测光技术发展的鼎盛时期,被广泛应用于独立手持式测光表、机身外接独立式测光表、机身外接联动式测光表、机身内置独立式测光表、机身内置联动式测光表。

硒光电池的缺点是感光灵敏度较弱,且电池的外路电阻不够稳定,同时硒光电池还具有记忆特性,从强光进入弱光环境时会出现一段时间的量光失灵。

到了上世纪60年代,硒光电池测光表便被逐渐淘汰了。



图1: 手持式硒光测光表;  
 图2: 西德产高森牌硒光测光表;  
 图3: 美国韦斯顿硒光测光表;  
 图4: 美国斯佩拉套装硒光测光表;  
 图5: 日本世光硒光测光表;  
 图6: 上海照相机厂仿照德国相机生产的上海II型相机, 配备了外置式硒光测光表;  
 图7: 德产徕卡M3相机, 配备外置式快门联动硒光测光表;  
 图8: 安装有内置式硒光测光表的德产照相机;

图9: 内置光圈联动式硒光测光表的日产玛米亚16MM相机;

图10: 配备了光圈快门联动式硒光测光表的德产康泰克斯“独眼”135相机;

图11: 具有快门优先自动测曝光功能的柯达“Super six 20”型相机;

图12: 德国爱克发Automatic66型相机, 同样使用了硒光测光表, 并具备光圈优先自动测曝光功能。

## 第二代硫化镉光敏电阻测光表

1961年日本潘太克斯(PENTAX)相机上最先配备了机身外接式硫化镉测光表。“硫化镉测光表”采用硫化镉光敏电阻做测光元件, 串联在以微型电池为电源的电路内, 当投射到光敏电阻上的光强度发生变化时, 光敏电阻的阻值相应地发生变化, 带动灵敏电流计的指针产生不同方向的偏转, 从而指示光的强弱。

硫化镉测光表主要特征如下:

(1) 对光线的敏感度是晒光测光表的100倍, 在月光下也可使用; 但在暗弱光线下量光时, 需要较长的量光时间才能得到正确读数, 例如在月光下需要数分钟才行。

(2) 对红光过于敏感。因此, 测量光线含有较多红光成分时, 测量读数会偏高, 并导致曝光不足。因而在钨丝灯或者在日出、日落的光线下测量, 需要再增加大概1/3的曝光量。

(3) 量光后还原较慢, 尤其是测量强光后所产生的记忆性, 会在几分钟甚至几小时内失去效用, 需要慢慢还原后再继续使用。



60年代应用了硫化镉测光表的单反相机

### 第三代蓝硅光敏二极管测光表

伴随科学技术的飞速发展，光敏元件领域的研发也在不断取得进展，包括 SBC 蓝硅光电池（蓝硅光敏元件）、SPD 蓝硅光电二极管、SPC 蓝硅光敏元件（又称矽光敏元件）、GAP（GASP）磷砷化镓光敏元件、GPD 镓光电二极管等创新技术被大量应用于测光表的更新换代。

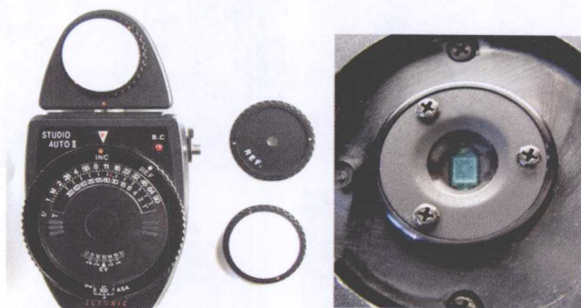
现代测光表主要使用蓝硅光敏二极管做光阻元件，与上代光敏元件相比较，其优势主要体现在：一是蓝硅光敏元件在暗弱光线的反映要比硫化镉快得多；二是对光线的敏感度比硫化镉更强，反应速度更快；三是它对光谱的敏感性比硫化镉有明显的改进，更接近全色胶卷的光谱敏感性。

蓝硅光敏元件对电能消耗较大，不使用时要注意随时关闭电源，因此目前使用蓝硅光敏元件的测光表普遍采用自动断电设计。

1962 年，日本的宾得公司率先在其 135 单反相机上使用 TTL 内测光系统。TTL 是英文“Through The Lens”的首字母缩写，因为所测量的是通过镜头的光线照度而得名。通过镜头的光线是真正对胶片或数字影像传感器产生感光作用的光，因此其量光的精确度非常高。

当眼睛靠近相机取景的目镜取景拍摄时，同时阻挡了杂光由目镜进入到相机内部；但是使用相机自拍功能拍摄时，杂光由目镜进入相机，便极有可能干扰测曝光系统的准确性。因此大多数单反相机上都设计有目镜遮挡片，有的内嵌于目镜内部，有的则是独立目镜盖的形式。

一些型号的 120 单反相机加装专用测光配件后，也可以实现 TTL 内测光。采用镜间快门的旁轴取景照相机，快门设计在镜头中间，所以很难采用内测光装置。采用焦平面快门的旁轴取景相机，如徕卡 M6、M7，康泰时 G2 等，都采用的是内测光系统。



世光L488型测光表内的蓝硅光敏元件

电子快门和电动驱动光圈的出现，实现了内测光与曝光联动。光圈优先、快门优先和电子程序快门等自动测曝光联动模式，令原本操作复杂的曝光参数设定和拍摄过程变得十分简单，因此大大降低了摄影术的门槛。

现代测光表的种类很多，各自的结构特点、量光区域、量光方式、感光精度、显示方式、选用光敏元件等均有不同，而不同摄影师在使用测光表时，更存在量光习惯上的差异，这些因素都有可能引发测曝光的误差。

## 二、光圈和快门

光圈和快门是相机上控制曝光的两个主要装置。

光圈是控制通过镜头并照射在胶片或数字影像传感器上的光线照度的装置。

摄影术发展的不同阶段的光圈结构具有明显的不同点，先后出现过的结构种类有以下几种：

### 固定孔径光圈

由硬卡纸或金属薄片制作而成的独立光圈片，每一片上具有不同直径的单一圆孔，使用的时候根据光线和曝光需要，选出相应孔径的光圈片，插入镜头上的插槽即可。

### 沃德侯瑟光圈

十九世纪中期由欧洲人约翰·沃德侯瑟发明。

这是最初形态的可变孔径光圈，由一系列大小不同的圆孔排列在一个有中心轴的金属圆盘周围，转动圆盘将适当孔径的圆孔移到光轴上，即可达到控制光圈大小的目的。

### 猫眼式固定快门光圈

由两片具有半椭圆或者半菱形缺口的金属薄片重叠组成，使用弹簧作为动力驱动，曝光瞬间，两片叶片反方向相对移动，便可形成大小不同的椭圆形或菱形光孔，因酷似猫眼而得名。猫眼式光圈常被应用于简易的一次性照相机上，并兼有快门功能，但通常只有一档固定的快门速度。

### 猫眼式可变快门光圈

有些照相机上的猫眼式快门光圈可以调节快门速度，曝光瞬间双叶片开启到预定孔径大小后，可以保持该孔径直到所需曝光时间后再闭合。

### 虹膜式光圈

由多个相互重叠的弧形薄金属叶片组成，通过叶片的离合改变中心孔径的直径大小。虹膜式光圈是现代主流光圈的结构形态。相当长的一段时期内，采用虹膜式光圈的镜头是通过镜头上的光圈调节环来改变光圈大小的。到了 80 年代中后期，伴随电子驱动光圈技术的出现，原有的由机械调整光圈改为由电子步进马达控制调整，镜头与机身连接的接口也由机械接口变成加装了电子触点的电子接口。与此同时，自动对焦镜头在结构上也发生了变化，一类仍旧在镜头上保留有光圈调节环和光圈刻度，允许以手动机械方式调整光圈大小，从而确保了镜头与早期机械相机机身的兼容性；而另一类则取消了镜头上的光圈调节环设计，光圈值只能在机身的液晶屏幕上显示，而光圈大小的调节也通过机身上相应的光圈调节拨盘完成，因此这类镜头不能与早期的机械相机机身兼容。

机械光圈采用非瞬时式工作方式，需要在按下快门开始曝光以前，预先将光圈调校至所需要的光孔大小。因此，如果是在单镜头反光照相机上使用，取景器会随光圈大小的变化而产生明暗的改变，光孔越小取景器就越暗，从而影响摄影师的调焦精确度和取景构图。

电子光圈则属于瞬时光圈类型，在按下快门的瞬间，光圈叶片自动收缩到预设孔径大小，而在曝光前后始终处于最大孔径状态，有利于精确调焦构图的需要。

光圈和快门共同决定了胶片或者数字影像传感器获得曝光量的大小。如果说光圈的作用是控制感光材料在一定时间范围内接收光照的强度，那么控制光照时间长短的工作就由相机上的快门来完成。



随着胶片感光敏感性的不断提升，曝光时间可以在几秒、几分之一秒甚至更短的时间内完成，显然人工摘、盖镜头盖的方式已经不能精确控制曝光，于是相机的快门系统便应运而生了。

依据安装位置的不同可将快门分为“镜间快门”和“焦平面快门”两大类：

早期兼有快门功能的猫眼式光圈属于镜间快门的一种，但是由于其结构和功能都过于简单，很快就被以虹膜式光圈结构为主的镜间快门取代了。由于大多数镜间快门也兼有光圈功能，因此也被称做“光圈快门”。

镜间快门常见于大画幅座机镜头和旁轴取景可换镜头相机，一些 120 中画幅相机，例如 Mamiya RB67 Pro SD，也采用镜间快门的设计。

镜间快门的主要优点：

- (1) 位于镜头内部，结构简单；
- (2) 可以实现全速度闪光同步；
- (3) 体积小；
- (4) 曝光与快门弦可以不联动，易于进行多次曝光拍摄；
- (5) 工作过程中机械震动和噪音都很小；
- (6) 快门寿命更长。

镜间快门的缺点也十分突出：

- (1) 用于可换镜头机身时，每个镜头都需要安装快门；
- (2) 最高快门速度受到限制：虹膜式镜间快门的最高速度通常为 1/500 秒，而猫眼式镜间快门最高速度只有 1/125 秒；
- (3) 曝光与快门弦不联动时，可能导致一格底片被错误地曝光多次。

焦平面快门位于机身内的胶片平面或数字影像传感器平面之前，靠近焦点平面处，以幕帘式结构为主，快门开启时的运动方向则有横走式和纵走式的不同。

横走式焦平面快门上弦时，前、后幕帘有一部分始终互相重叠，因此胶片不会漏光，由一端横向运动向另一端时，与幕帘相连接的开关和动力弹簧同时被上紧。

当快门被释放时，前、后幕帘的运动方式依据快门速度的高低而不同。以下两幅图示中，红框代表前幕帘，绿框代表后幕帘，黑框代表胶片平面。上图是低速快门下幕帘的运动方式，下图是高速快门下幕帘的运动方式。

横走式焦平面快门相对较长的运动距离，导致其不可能具备很高的快门速度和闪光同步时间。

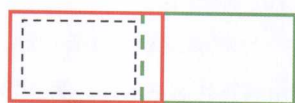


Fig. 1

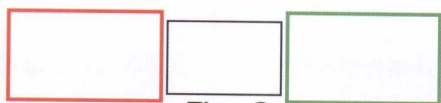


Fig. 2

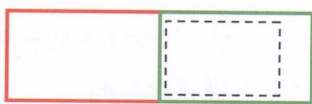


Fig. 3

慢速快门下，前幕帘从右向左移动，直至胶片平面完整暴露于光照下；达到预定曝光时间后，后幕帘从右向左移动，并完全覆盖胶片平面，曝光结束。

幕帘在这种运动方式下，快门所能达到的最高速度，就是相机的最高闪光同步时间。



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4

高速快门下，前幕帘首先从右向左移动，在即将运动到位而胶片平面尚未完全暴露在光照之下时，后幕帘开始从右向左移动。因此在使用闪光灯照明的拍摄中，如果快门速度超过最快闪光同步时间时，画面上会出现部分完全黑暗的情况，即闪光不同步。